中華農業氣象(Chinese J. Agromet.) 5(2):85-92,1998

研究報告(Original Paper)

臺中地區氣象因子對小白菜鮮重產量及相關生理性狀之影響

蔡金川[1] 湊匡時[1] 姚銘輝[1] 蔡財旺[1] 翁仁憲[2]

臺灣省農業試驗所[1] 中興大學植物學系[2]

摘 要

爲瞭解氣象因子對小白菜鮮重產量及相關生理性狀的影響，以鳳山及本地兩品種，於1995年6月至1997年4月在台中縣霧峰鄉農試所農場每月進行試驗。由試驗結果得知，秋季(10月、11月)生育(播種至收穫)之小白菜鮮重產量均高於別季，相關生理性狀(總乾物重、株高、葉數、葉面積)亦有較優之表現，這由於秋季之氣象條件(溫度、日射量、風速等)較適於小白菜生長。夏季的鮮重產量很低，與氣象因子過高有關。經統計分析，小白菜生育期間之氣溫(最高、最低、平均)及平均日射量與鮮重產量呈顯著性之負相關。而鳳山與本地品種生育期間之氣象因子與鮮重產量之關係，分別爲 $Y_1=5792.05-283.37^{**}X_5$，及 $Y_2=7790.26-253.13^{*}X_9$ (X_5爲平均日射量，其範圍是8~16 MJ m^{-2} day^{-1}；X_9爲最低氣溫，其範圍是12~26 ℃)。

關鍵詞：氣象因子，收穫期，鮮重產量，葉面積。

Effects of Climatic Factors on the Fresh Yield and Related Physiological Characteristics of Pak-Choi in Taichung area

Jin-Chuan Tasi[1], Kung-Shy Chi[1], Ming-Hwi Yao[1], Tsai-Wang Tasi[1] and Jen-Hsien Weng[2] ([1]Taiwan Agricultural Research Institute, Taichung, Taiwan, ROC; [2]Department of Botany, National Chung-Hsing University, Taichung, Taiwan, ROC.)

ABSTRACT : The purpose of this study was to investigate the influences of climatic factors on the yield characteristics of Pak-Choi in Taichung area. Feng-Shan and local cultivars sowed monthly between June, 1995 and April, 1997 at the experimental farm of Taiwan Agricultural Research Instiute. Climatic data during this period and the physiological characters of Pak-Choi were measrued. Experimental results indicated that the fresh yield, total dry weight, plant height, leaf number per plant, and leaf area at the marketable harvest stage were superior if the crop was grown in the autumn season (October to November). It was apt to growing for Pak-Choi under climatic conditions (temperature, solar radiation and wind speed etc.) in the autumn. The fresh yield were lower in the summer season (June to Septemper). Because the climatic conditions such as air temperature and solar radiation were higher in the summer. The fresh yield showed a significantly negative correlation with air temperature (maximum, minimum and mean) and mean solar radiation. The following equation can be derived to express the fresh yield (Y1) and the mean solar radiation in the growing periods for the Fengshan cultivar : $Y_1=5792.05-283.37^{**}X_5$, while the frest

收到稿件(Received)：10 Mar. 1998. 接受刊登(Accepted)：13 Apr. 1998.
本計畫承農委會(86LA016-1)補助。

yield (Y_2) and the minimum temperature (X_9) in the growing periods for the the local cultivar can be expressed as ： $Y_2=7790.26-253.13^*X_9$.

Key words: Climatic factor, Harvesting date, Fresh yield, Leaf area.

前　言

台灣每人每年平均蔬菜消費量，己由1951年的63公斤，提高到1991年的110公斤(楊，1993；謝1993)，對蔬菜大量供應與優良品質之需求亦隨之提高。台灣的氣候變化很大，春夏季時常遭受梅雨、颱風、豪雨的侵襲、蔬菜葉片常被雨打傷、或久浸水，根部易窒息枯死，冬季因受到冷氣團的影響，亦常受寒流過境及降霜影響而導致寒霜害發生。在此不良的氣候情況，由以葉菜類蔬菜之產量、品質均甚受其影響而使供銷不穩定。目前蔬菜專業區普遍利用防雨或防寒設施以穩定蔬菜產量。但缺乏氣象因子與露地葉菜類蔬菜生產間之相關資料，而使相關設施栽培技術之應用未能達到完善。因此本研究擬探討氣象因子對整年不同季節栽培小白菜鮮重產量及其相關生理性狀之影響，瞭解春夏秋冬四季之不同氣象環境與小白菜產量潛能之關係，建立周延之氣象因子與葉菜類蔬菜生產之相關性資料，以供設施栽培管理改進之依據，及產期或產量之預測根據。

材料與方法

本試驗自1995年6月至1997年4月，於台中縣霧峰鄉台灣省農業試驗所試驗田進行，供試材料為鳳山白菜及本地品系兩種。採用逢機完全區集設計，每畦面積1.2 × 5.0 m²，四重複共計八畦，週邊設保護行。試區面積計，約一公畝，每品種重複四次。處理為不同播種期及收穫期如表1。每十公畝種子量50 g，每畦播重量3 g，採撒播方式。發芽後可行間拔使株距維持在10～15 cm左右。生育期間之施肥量與施肥法：基肥包括堆肥、過磷酸鈣及氯化鉀，用量分別為1500、45、10 kg ha^{-1}，追肥(尿素)分三次施，即第一次(發芽後第6天)，第二次(發芽後第11天)與第三次(發芽後第16天)追肥，用量各為5、15、10 kg ha^{-1}。其他田間管理按一般管理法實施。

播種後至採收期取樣調查一次，取樣範圍以每畦中間部份生育整齊60 × 60 cm²選其中25株調查，其調查項目及方法分別為：

以每株最長一葉之長度代表株高，測量由根部至綠葉最高處。採樣時以鐮刀貼近地面由莖基部切除秤量其全株鮮重量，而以調查範圍內(60 × 60 cm²)所有樣品鮮重換算成每平方公尺之鮮重量。計數每株長度超過2公分以上之葉數。將長度超過2公分以上之葉片沿柄邊緣剪下，以自動測定儀(L1-COR，L1-3000A)測葉面積。並於試驗期間觀測氣溫，日射量，雨量及風速等氣象資料。

結果與討論

一、試驗期間氣象因子之變化狀況

雖然台灣春夏秋冬四季並不分明，為易瞭解或掌握氣象因子與小白菜之鮮重產量及其有關生理性狀之互動關係，則把整年分為春(3、4、5月)、夏(6、7、8、9月)、秋(10、11月)、冬(12、1、2月)四季，先瞭解這四季之氣象因子變化狀況，然後再探討兩者(氣象與小白菜生產之關係)之相關程度，由圖1所示，試驗期間(1995年6月~11月、1996年3月~10月及1997年1月~5月)冬季之各氣象因子(氣

Table 1. Effects of planting time to the fresh yield and related physiological characters of Pak-Choi.

Cultivar	Year	Code	Sowing date	Harvesting date	Total dry wt. ($g\ m^{-2}$)	Total fresh wt. ($g\ m^{-2}$)	Plant height (cm)	Leaf no ($plant^{-1}$)	Leaf area ($cm^2\ plant^{-1}$)
Fengshan	1995	B1	6/23	7/29	1119.0 e	135.95 ab	13.19 b	4.79 ab	78.47c
		B2	9/1	9/26	2105.9 dc	132.70 ab	16.78 ab	5.05 a	146.96b
		C1	10/4	10/30	3447.2 a	168.95 a	24.54 ab	5.33 a	274.54a
		C2	11/8	12/8	3071.9 ab	145.68 ab	44.02 a	4.85 a	156.98b
	1996	A1	3/14	4/5	3016.3 ab	102.70 bc	22.45 ab	4.15 b	138.95bc
		B3	7/11	7/30	1469.9 de	87.85 c	15.85 ab	4.83 a	105.65bc
		B4	9/13	10/15	2154.5 dc	127.40 abc	21.48 ab	4.88 a	152.53b
		C3	10/23	11/23	2689.7 bc	135.87 ab	23.23 ab	5.50 a	311.34a
	1997	A2	4/12	5/13	1695.8 de	114.05 bc	19.83 ab	4.87 a	139.47bc
Local	1995	B1	6/23	7/29	865.3 e	125.67 bc	10.67 f	4.13 de	53.02d
		B2	9/1	9/26	2522.9 bc	159.35 ab	17.90 d	4.63 cd	115.48cd
		C1	10/4	10/30	4322.9 a	180.62 a	26.65 a	5.65 a	408.67a
		C2	11/8	12/8	4677.4 a	184.85 a	21.91 bc	5.39 ab	246.75b
	1996	A1	3/14	4/5	3127.5 b	101.20 cd	24.04 ab	3.71 e	115.25cd
		B3	7/11	7/30	1327.5 de	71.30 d	14.05 e	4.38 de	82.16cd
		B4	9/13	10/15	1946.0 cd	130.82 bc	19.08 de	4.75 bcd	153.84c
		C3	10/23	11/23	2251.8 bcd	113.55 bcd	21.88 bc	5.23 abc	318.05b
	1997	A2	4/12	5/13	1807.0 cde	123.20 bc	17.08 d	4.43 de	154.89c

1.A (spring: A_1, A_2) 、B (summer: B_1, B_2, B_3, B_4) and C (autumm: C_1, C_2, C_3) represent the different growing periods from sowing to harvest.

2.Mean followed by the same letter within each column does not show significant difference p (0.05) by Duncan's MRT.

溫、日射量及雨量）除了12月的雨量之外，都是整年當中最低。

最高及最低氣溫分別爲20.3~23.0 ℃與10.2~12.0 ℃，平均氣溫爲16.0~18.2 ℃，日射量7.6~9.2MJ m^{-2} day^{-1}。1996年冬季自秋季零降雨量突然攀升至高峰(8.7 mm)，乃由於12月下旬受鋒面及南方雲系北移雙重影響，所帶來的降雨所致。兩年(1996年、1997年)春季的氣溫、日射量及雨量較冬季皆有明顯的上升，最高及最低氣溫各爲23.7~31.8 ℃與14.9~22.0 ℃，平均氣溫是18.2~25.6 ℃，日射量爲10.23~13.14 MJ m^{-2} day^{-1}，而雨量是0.45~12.5 mm變化幅度較大。1996年3月份的雨量比1997年低，4月及5月反而高，皆相差約5 mm，因這兩月受鋒面影響，又有凱姆(5月下旬)颱風來襲，帶來豪雨有關，但日射量反而低於1997年，這可能是陰雨的緣故。夏季月平均最高及最低氣溫分別爲32.2~34.4 ℃與23.0~25.0 ℃，平均氣溫27.2~28.9 ℃，日射量11.1~14.8MJ m^{-2} day^{-1}，雨量爲0~17.2 mm，至於秋季(10及11月)，月平均最高及最低氣溫分別爲26.8~31.1 ℃與15.3~21.6 ℃，平均氣溫20.0~25.1 ℃，平均日射量9.1~12.3MJ m^{-2} day^{-1}而平均雨量近於零，即0~0.65 mm。

李(1979)於中國溫暖氣候的江南進行綠葉蔬菜試驗，得知蔬菜生長的適宜溫度在20~25 ℃，過高的溫度40 ℃以上時，則生長幾乎停止，而當溫度在10~15 ℃以下時，生育不良。由上述四季氣象因子的變化狀況而言，秋季除了最高氣溫超過適溫25 ℃之外，其他氣溫大致涵蓋在適溫(20~25 ℃)的範圍內，而日射量亦高，僅次於夏季，唯雨量秋季於四季當中最少，近於零的乾旱季節，但農試所有完善的灌溉設備，則無缺水之慮，至少無雨害發生。因此秋季爲四季當中最適合於栽植小白菜並有利於蔬菜生產。春季的氣象條件與秋季甚爲類似，唯雨量大於秋季，因常有水患，較不利於小白菜的生產。夏季的各種氣象因子爲四季當中最高，氣溫只有最低氣溫在適溫的範圍內，其他氣溫皆超過適溫。由於鮮重產量與氣溫（最高、最低、平均）或日射量有顯著性負相關係（表2），則夏季的高氣溫及高日射量，小白菜的鮮重產量不易提升。又常有颱風雨來襲，如1995年6月的荻安娜，7月的蓋瑞8月的肯特、及9月的賴恩等颱風，即有風吹雨打露地葉菜類生產受到損害，常發生夏季蔬菜短缺現象。冬季的氣溫與日射量爲四季當中最低，其平均氣溫或最低氣溫距適溫爲四季當中最大，又有冷氣團的來襲，曾經於1996年1月8日~10日受強烈大陸

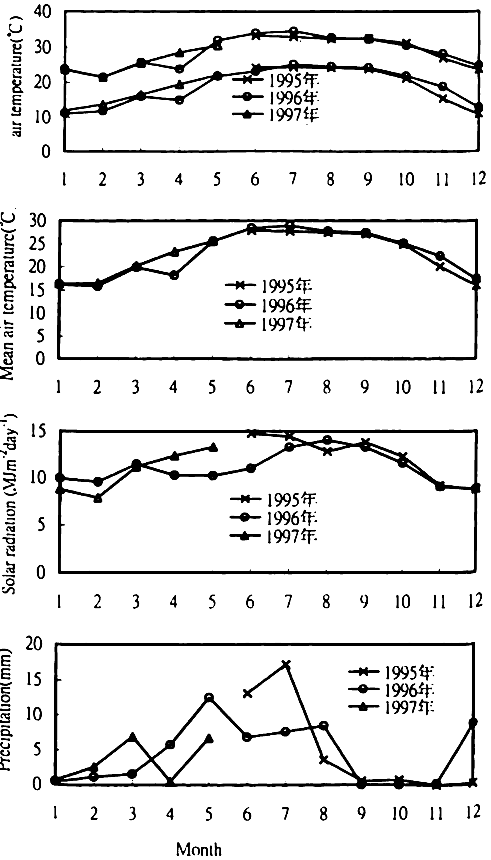

Fig. 1. Changes of air temperature, solar radiation and precipitation (June, 1995 to April, 1997) at Taiwan Agricultural Research Institute.

Table 2. Correlation coefficient of climatic factors, and the fresh yield and related physiological characters of Pak-Choi (A:Fengshan cultivar, B:Local cultivar).

		Climatic factor			
Character	Cultivar	Maximun temperature(℃)	Minimum temperature(℃)	Mean temperature(℃)	Mean solar radiation(MJ m^{-2} day^{-1})
Fresh yield	A	-0.70*	-0.71*	-0.73*	-0.80**
(gm^{-2})	B	-0.68*	-0.75*	-0.76*	-0.76*
Dry wt	A	-0.15	-0.21	-0.20	-0.20
(gm^{-2})	B	-0.31	-0.38	-0.36	-0.26
Plant height	A	-0.54	-0.46	-0.51	-0.64
(cm)	B	-0.66	-0.64	-0.67*	-0.75*
Leaf no	A	0.28	0.22	0.22	-0.01
($plant^{-1}$)	B	-0.12	-0.24	-0.22	-0.39
Leaf area	A	-0.49	-0.54	-0.55	-0.73*
(cm^2 $plant^{-1}$)	B	-0.32	-0.41	-0.40	-0.46

冷氣團南下影響，氣溫遽降至10 ℃以下之低溫。因此冬季小白菜生育不良，並無完整之試驗資料。為要使四季皆能種植葉菜類，特別是不利於蔬菜生育或生長的夏冬季，研發防風雨禦寒冷的設施栽培為刻不容緩的事，以便四季能在人工的設施內種植蔬菜，緩和夏冬季蔬菜的短缺 (蔡，1995；蔡等，1996；蔡等1996；蔡，1997)。

二、不同季節之生育期間氣象因子對小白菜鮮重產量及其相關生理性狀變化之影響狀況

表1為鳳山及本地種小白菜收穫期取樣之調查結果，兩品種生育日數在20~33日之間的變動，以夏季最少，其次是春秋季。氣溫較高的季節生育期間有縮短的趨勢，但生育日數與鮮重產量或其他生理性狀 (乾物重、株高、葉數及葉面積) 之關係程度不高，未達顯著性水準 (表3)。品種間全程試驗之各性狀總平均比較，即本地種之鮮重產量高於鳳山種，其他與產量潛能有密切關係之乾物重及葉面積亦是本地種較高，這是否與品種或品系的適應性有關，值得研究。

春夏秋冬四季的各性狀比較，首推鮮重產量兩品種皆為秋季生育的表現最高，與鮮重產量具有顯著性正相關 (表3) 的乾物重、株高及葉面積亦是秋季最優，通常作物的鮮重產量或穀粒產量皆與乾物重呈正相關，植株較高佔空間較大，能吸收較多的日射量則光合作用亦較旺盛，可累積更多的光合成產物有利於鮮重產量的提升。葉面積方面，蔡 (1984) 在水稻的試驗亦認為葉面積與產量潛能具有密切關係。由此可知，在秋季生育的小白菜，不論是鮮重產量或生理性狀都比他季優勢，在在說明四季當中秋季栽植小白菜最有利於生產。

春季與秋季的鮮重產量差距較小，無顯著性差異，其他生理性狀的反應亦大致如此。夏季產量潛能 (鮮重產量與生理性狀) 表現最差，與春秋兩季差距大，達到顯著性差異。冬季則因氣溫過低 (平均氣溫低於18 ℃) 小白菜不易存活，則無完整的試驗資料。

三、小白菜生育期間之氣象因子與其鮮重產量及相關生理性狀之關係

小白菜生育期間之氣象因子與鮮重產

Table 3. Correlation coefficient among six characters of Pak-Choi measured at marketable harvest stage. The upper right figures are for Fengshan cultivar, the lower figures are for the local cultivar.

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
(1) Total fresh wt.(g m^{-2})		0.51	0.81**	0.15	0.78*	0.08
(2)Total dry wt.(g plant^{-1})	0.73*		0.31	0.62	0.63	0.45
(3)Plant height (cm)	0.84**	0.44		0.24	0.71*	0.28
(4)Leaf No. Per plant	0.61	0.68*	0.51		0.65	0.45
(5)Leaf area (cm^{2}plant^{-1})	0.77*	0.66	0.79*	0.85**		0.42
(6)Growing days	0.08	0.41	0.10	0.45	0.27	

量及其相關生理性狀之關係程度。經統計分析結果 (表2) ，兩種小白菜品種 (鳳山、本地種) 之鮮重產量與氣溫 (最高、最低、平均) 及平均日射量均呈現顯著性負相關，即此兩種氣象因子愈低，鮮重產量會出現愈高的趨勢，其他生理性狀與氣象因子之關係，除了鳳山品種之葉數外，其餘都出現負相關，而葉面積與氣象因子之負相關係數普遍較高，則氣象因子對鮮重產量及葉面積的影響較大。

由表1 得知，在秋季生育的小白菜鮮重產量及其相關生理性狀優於他季，圖2 、3 所示，秋季 (C1 ，C2 與C3) 之氣溫 (最高、最低、累積、平均) ，日射量 (累積、平均) 雨量 (累積、平均) 與平均風速等氣象因子出現較低的趨勢。則上述的氣象因子與鮮重產量有顯著性負相關的存在，於此証實。由圖2 得知，秋季 (C1 ，C2 ，C3) 的最高、最低氣溫範圍分別爲 25.1~31.0 ℃及 19.8~20.7 ℃，在四季當中與李 (1979) 所指出綠葉蔬菜生育的適當溫度條件20~25 ℃範圍最爲接近，其平均溫度大部份涵蓋 (C1 ：24.7 ℃，C3 ：23.3 ℃) 或接近 (C2 ：18.1 ℃) 適溫的範圍內，又秋季生育期間的日夜溫差 (圖2) 較大，這有利於光呼吸作用及乾物質的累積，亦是提升鮮重產量的重要原因之一。例如 Went (1944) 在蕃茄的試驗調查，得知生育於日夜溫差較大的，其生長較優。另外風速亦是構成秋季高產的原因，圖2 所示，秋季生育期之風速 1.9~2.2 ms^{-1} ，除了春季生育期A2 之外，較他季風速爲低，據矢吹 (1992) 的試驗結果，發現生育在風速超過2 ms^{-1} ，小黃瓜的光合成速度會出現減低的趨勢。其他季生育期的風速大於秋季且超過2 ms^{-1} ，可能因此不利於光合成而鮮重產量低於秋季生育的小白菜。

並且秋季無風水害，在在說明秋季的氣象因子有利於小白菜的生產。春季生育的小白菜鮮重產量僅次於秋季，除上述 (圖1) 這兩季的氣象條件 (雨量除外) 頗爲相似，而由圖2 得知，春 (A1 、A2) 秋季 (C2 、C3) 生育期間之氣象條件如最高、最低溫差、累積平均氣溫及日射量 (A2 與C3 之差除外) 相差亦不大，唯雨量兩季差距甚大，如A1 與C2 之比較，前者不論累積雨

量 (62.5 mm) 或平均雨量 (2.7 mm) 冠於各生育期，後者則處於乾旱狀態雨量爲零、而A2 之雨量亦比C3 皆大 10 倍左右，由此可知春季栽培之小白菜乃因生育期間雨量

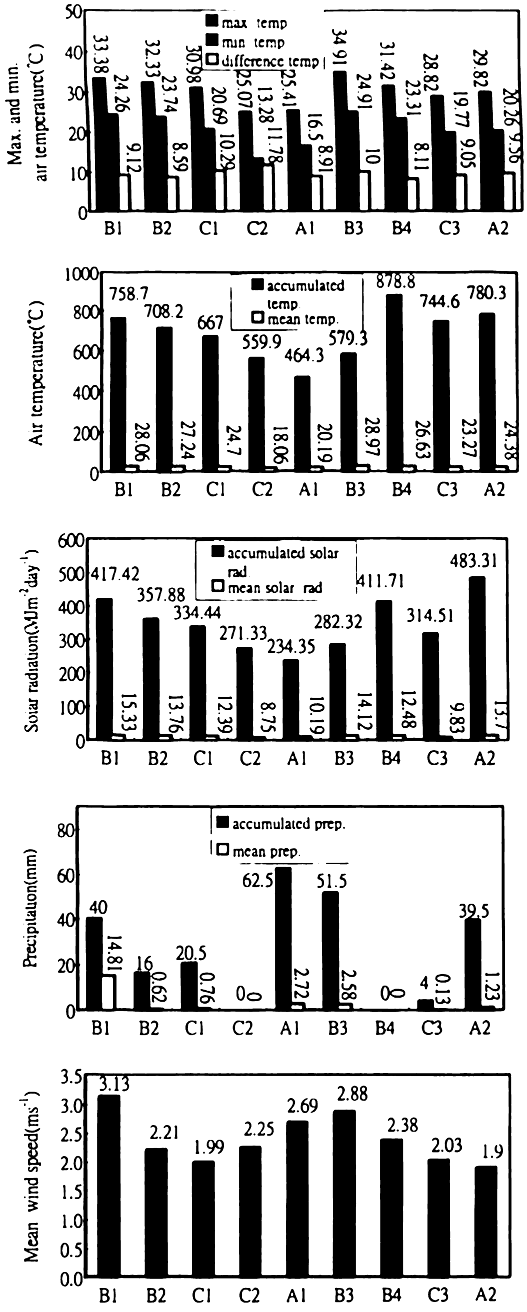

Fig. 2.Changes of air temperature, solar radiation, precipitation and wind speed in each growing periods (from sowing to marketable harvest stage). Refer to Table 1 for the description of symbols.

過多而受害，爲鮮重產量低於秋季的最大原因。冬季唯C2 的後期只佔整個生育期的四分之一時間，又是初冬平均氣溫 15.3 ℃並不是生育最不良氣象條件。其他冬季時間小白菜不易成活。

夏季 (B1 ， B2 ， B3) 的鮮重產量 (865.3~2522.9 gm^{-2}) 及有關生理性狀爲四季當中表現最差，其差異大部份達到顯著性水準。夏季各生育期的氣象條件唯日夜溫差 (圖2) 之外，其他氣象因子高於他季，特別是氣溫，除了最低氣溫之外，其餘超過適溫範圍。由此可知，夏季小白菜生育則處於不良的氣候環境其鮮重產量或有關生理性狀不如他季。

再者，爲要瞭解及掌握氣象因子 (溫濕度、溫差、日射量、雨量等) 與兩品種鮮重產量之互動關係，以氣象因子與鮮重產量作逐步迴歸統計分析的結果，鳳山品種之鮮重產量僅與平均日射量有顯著迴歸關係，至於其餘氣象因子在進入逐步迴歸第二階段後，即因顯著性未達0.15 之顯著性，而被排除在外，即模式爲 Y_1 (鮮重產量gm^{-2}) $= 5792.05-283.37^{**}X_5$ (平均日射量) ，如圖3 所示，表示鳳山品種於生育期間在平均日射量 8~16MJ m^{-2}day^{-1} 的範圍，平均日射量越低其鮮重產量越高的趨勢。本地種之鮮重產量僅與最低氣溫有顯著迴歸關係，至於其餘氣象因子亦在進入逐步迴歸第二階段後，即因顯著性未達 0.15 之顯著性，而被排除在外，即模式爲 Y_2 (鮮種產量gm^{-2}) $= 7790.26-253.13^{*}X_9$ (最低氣溫) ，如圖4 所示，而本地種則在最低氣溫 12~26 ℃之範圍內，最低氣溫愈低其鮮重產量會出現愈高的傾向。依據這試驗結果，日後需再反覆測試，建立可行性之小白菜鮮重產量預測模式 ，尤其是以本地種作爲預測模式建立的對象更爲實用性，此本地種品系產量潛能高，其關係式又是表示鮮重產量與最低氣溫的關係，在氣象環境裡

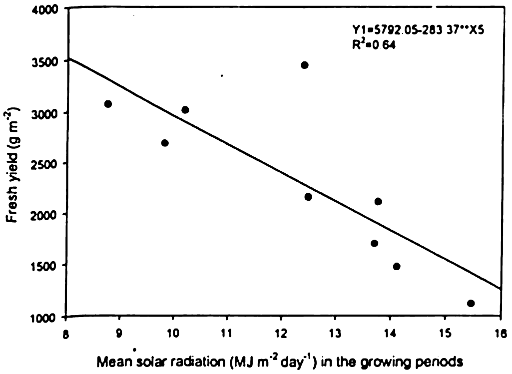

Fig. 3. Relationship between the fresh yield of Fengshan cutlivar (Y1) and mean solar radiation (X5).

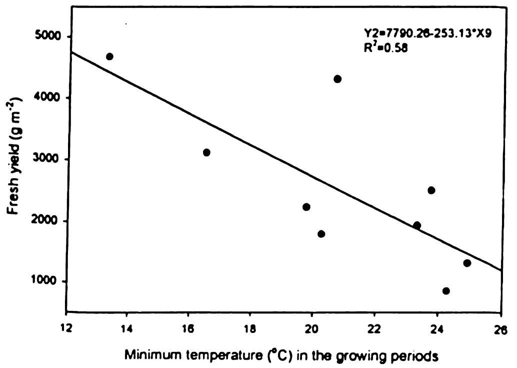

Fig. 4. Relationship between the fresh yield of local cultivar (Y2) and minimum temperature (X9).

溫度是控制作物發育的首要環境因子(Christiansen,1986；Ehlig,1986)，而Reddy等(1992)亦認爲溫度能用於預測作物的發育與生長，甚至於產量。並且大衆廣播工具(電視、收音機、報紙等)通常氣溫之預測以最高／最低氣溫爲報導，則菜農氣象資料之取得容易。本地種之最低氣溫與鮮重產量之關係式，若能研發成模式化具有實用價値。可供葉菜類蔬菜以氣象因子預測鮮重產量的多寡，或蔬菜栽培管理及市場訂定價格的參考依據。

引用文獻

李曙軒　1979　蔬菜栽培生理。上海科學技術出版社。

楊文振　1993　夏季蔬菜栽培之探討。台灣農業　29: 65-69。

蔡金川　1984　水稻葉面積指數與產量之關係。中華農業研究33: 109-116。

蔡金川　1995　西螺地區，夏季蔬菜防雨設施之現況與建議。台灣省農業試驗所技術服務　22: 13-15。

蔡金川、溙匡時、姚銘輝、劉慧瑛、梁連勝、劉復誠、李炳和　1996　不同設施栽培對葉菜類蔬菜生產之影響　P.209-224　農業氣象、空氣污染與酸雨對農業生產影響及因應措施研討會論文專輯。

蔡金川、溙匡時、姚銘輝、梁連勝　1996　不同遮蓋設施對葉菜類蔬菜產量及品質之影響。農情專訊　167: 24-25。

蔡金川、溙匡時、姚銘輝、李孟穎、梁連勝　1997　改良式溫網室與傳統式塑膠布溫室設施之莧菜生產比較。農情專訊　169: 20-23。

謝坤全　1993　台灣地區蔬菜產銷檢討與改進。台灣農業　29: 64-71。

矢吹萬壽　1992　風と光合成－葉面境界層の植物の環境對應。農文協　P. 38-45。

Christiansen, M.N. 1986. Influence of atmospheric parameters on growth and development.In: *Cotton Physiology* J.R. Mauney and J.M. Stewart (ed.) p.39-46 The Cotton Foundation Reference Book Series, National Cotton Council of America, Memphis, TN.

Ehlig, C.F. 1986. Effects of high temperature and controlled fruiting on cotton yield. In *Cotton Physiology*. J.R. Mauney and M. Stewart(ed.). p.57-62. The Cotton Foundation Reference Book Series, National Cotton Council of America, Memphis, TN.

Reddy, K.R., V.R. Reddy, and H.F. Hodge. 1992. Temperature effects on early season cotton growth and development. Agron. J. 84: 229-237.

Went, F.W. 1944. Plant growth under controlled conditions (II). Amer. J. Bot. 31: 135-150.